PREPRINT



Ильясов Ф. Н.[1] Об энергии и криволинейном движении фотонов. М.: ИЦ Орион. 2018, декабрь. – 11 с. (Препринт)

Аннотация

Целью статьи является рассмотрение возможностей развития гипотезы А. Эйнштейна о квантах света – фотонах, как о «порциях энергии» и гипотезы Р. Фейнмана о криволинейном движении фотонов. Исходным методическим препятствием в разработке квантовой теории света, судя по всему, была эмпирически необоснованная гипотеза об обязательном прямолинейном движении фотонов. Хотя дифракция света – огибание тел, отклонение света в область тени, была давно известна из простых опытов. В статье излагаются предположения о физических свойствах фотонов, которые могли бы обуславливать дифракцию. Эйнштейн указывает, что понятие длины волны (частоты света) может быть заменено понятием энергии световых квантов, из этого следует, ряд существенных гипотез, излагаемых в статье. Эйнштейн, высказывает гипотезу о том, световое излучение «должно обладать своего рода молекулярной структурой», т.е. отдельные «порции энергии», вероятно, различаются величиной, поддерживая предположение Ньютона о различных размерах фотонов разного цвета. Треугольная стеклянная линза, при прохождении через нее белого света, выполняет функцию своего рода сепаратора, разделяя фотоны на фракции по их размерам (энергии, цвету). Можно предположить, что красные фотоны имеет меньшие размеры (энергию), потому легче преодолевает тело призмы и, соответственно, меньше отклоняется от начальной (прямой) траектории. Фиолетовые фотоны имеют существенно большие размеры (энергию), сложнее преодолевает среду и оттого больше отклоняется под влиянием среды. Криволинейное движение фотонов, поляризация, отражение, преломление света и интерференция, могут объясняться специфическими свойствами фотонов, предположения о

---

[1] Фархад Назипович Ильясов. Исследовательский центр Орион. E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com
ORCID iD: 0000-0002-0472-110X

которых излагаются. В статье показывается, что квантовая теория света не исчерпала своего потенциала развития.

Ключевые слова: квант света; фотон; дисперсия света; поляризация света; рефракция света; отражение свет; дифракция света; интерференция света; энергия фотона

1. Введение

Идею о том, что фотоны (корпускулы, кванты света), различаются размером, высказал Исаак Ньютон, а Альберт Эйнштейн предположил, что фотоны есть «порции энергии». В ряде публикаций понятия кванта любого излучения и фотона используются как синонимы, в данном изложении под фотоном понимаются только кванты светового излучения.

Исаак Ньютон писал: «…Чтобы производить черный цвет, корпускулы должны быть меньше любой из частиц, проявляющей цвета. <…> Не исключена возможность того, что со временем, при усовершенствовании микроскопов, …мы будем в состоянии открыть некоторые самые большие из этих корпускул» [Ньютон, 1954: 197-198].

Альберт Эйнштейн указал: «Чтобы сохранить принципиальную идею теории Ньютона, мы должны предположить, что однородный свет состоит из зерен энергии, и заменить старые световые корпускулы световыми квантами, т.е. небольшими порциями энергии, несущимися в пустом пространстве со скоростью света. Мы будем называть эти световые кванты фотонами. Возрождение теории Ньютона в этой новой форме приводит к квантовой теории света» [Эйнштейн, 1967: 520]. Следует уточнить, из приведенного высказывания Эйнштейна следует, что, строго говоря, фотон – не «частица», а «порция» энергии.

Идею о криволинейном движении света высказал и экспериментально обосновывал, например, Ричард Фейнман [Фейнман, 1988].

В статье рассматриваются возможности развития гипотезы А. Эйнштейна о фотонах как о «порциях энергии» и гипотезы Р. Фейнмана о криволинейном движении фотонов.

В понимании того, что есть свет, как известно, сложились три подхода: корпускулярная, квантовая теория света; волновая теория и теория корпускулярно-волнового дуализма. Само существование компромиссного концепта дуализма, как представляется, является свидетельством нерешенности вопроса. Как заметил Ричард Фейнман: «Эта путаница была названа “корпускулярно-волновым дуализмом” света» [Фейнман, 1988: 24].

Говоря о концепте двойственной природы излучения, Альберт Эйнштейн заметил: «Почти все современные физики считают это толкование в основном окончательным, мне же оно кажется лишь временным выходом» [Эйнштейн, 1967: 277].

В настоящее время доминирует волновая теория света. В некоторых учебниках по оптике квантовая теория света лишь кратко упоминается. Существуют весьма дискуссионные и не очень фундированные публикации последнего времени, теоретического характера, отражающих корпускулярный подход, см. например: [Reddy, 2016; Карпов, 2016; Горячев и др., 2012; Кочетков и др., 2016]. Padiga Reddy, в частности, пишет: «Хотя [световое]

излучение носит чисто корпускулярный характер, систематическое излучение и распространение создают иллюзию волновой природы» [Reddy, 2016: 25]. Он пытается объяснить дифракцию и интерференцию в рамках корпускулярного подхода.

В статье Анатолия Верхозина описаны результаты экспериментов, которые можно истолковать как подтверждающие квантовое понимание света [Верхозин, 2015].

Надо отметить, гипотеза о волновой природе света не основана на результатах физических измерений, сами волны, либо их признаки, физическими приборами не зафиксированы. Как известно, не существует развернутого концепта волновой теории света. «Длина и частота светового излучения» – это гипотезы, сформулированные на основании «геометрических» измерений расстояний между полосами света и тени на экране при интерференции света. «Волна» в различных истолкованиях может выступать и в качестве физического объекта, и в качестве свойства этого объекта.

В то же время эмпирические данные, типа фотоэффекта и эффекта Комптона, однозначно указывают на квантовую природу светового излучения. В качестве фактов, «отрицающих» квантовую природу, рассматриваются, в частности, феномены дифракции, рассеяние света и интерференция света (разделение потока фотонов на отдельные пучки). Однако отсутствие развернутого «квантового» объяснения само по себе никак не отрицает того, что свет есть поток фотонов, порций энергии.

Как представляется, потенциал корпускулярного подхода далеко не исчерпан. Основной фактор, сдерживающий его развитие, по-видимому – это недостаточное развитие предположения о том, что кванты света, фотоны, обладают определенными физическими свойствами, позволяющими объяснить следующие феномены:

- дифракцию света – огибание тел, отклонение света в область тени;
- поляризацию – разделение одного луча света на два различающихся луча;
- рефракцию (преломление) и отражение света;
- дисперсию – спектро-образование;
- интерференцию[2] – преобразование единого потока фотонов в отдельные потоки.

2. О свойствах квантов света

Ричард Фейнман отметил: «Хочу особенно подчеркнуть, что свет существует именно в виде частиц – это очень важно знать. …любой прибор, достаточно чувствительный, чтобы реагировать на слабый свет, всегда в конце концов обнаруживал то же самое: свет состоит из частиц» [Фейнман, 1988: 17].

Фотоны выталкиваются (излучаются) разными участками нагретого тела во всех возможных направлениях случайным образом, в разные моменты времени и через разные периоды длительности. Поскольку фотоны выталкиваются не синхронно, без всякой

[2] В различных публикациях одни и те же феномены иногда могут называться и дифракцией, и интерференцией, т.е. эти понятия порой плохо различимы, либо отражают взгляды под разными углами зрения.

закономерности, то они не имеют и частоты излучения. Как отмечал Макс Планк: «Состояние излучения в определенном месте тела нельзя …охарактеризовать с помощью какой-либо одной направленной величины, так как оно охватывает, вообще говоря, бесконечно большое число лучей, перекрещивающихса в данном месте по всем направлениям; интенсивность, число колебаний и поляризация этих лучей совершенно не зависят друг от друга» [Планк, 1935: 133].

Относительно фотонов известно, или предполагается, что они обладают следующими свойствами:

- неопределенно долго движутся в вакууме со скоростью ≈300 км/сек;
- масса покоя равна нулю (это положение дискутируется, см., например [Кобзарев и др., 1968]);
- переносят энергию (обладают энергией, содержат энергию);
- не имеет электрического заряда (не отклоняются электрическими и магнитными полями);
- могут менять скорость и отклоняются в своем движении под воздействие сильной гравитации, сила гравитационного взаимодействия, возможно, пропорциональна энергии фотона;
- оказывают давление на тела и газы;
- разные монохромные фотоны различаются величиной энергии;
- при пересечении двух световых потоков не зафиксировано взаимодействие фотонов друг с другом (за исключением мощных лазерных потоков).

Относительно фотонов точно неизвестно:

- из чего они состоят в «материальном», физическом смысле;
- существуют ли фотоны разного размера;
- состоит ли белый свет из фотонов «разного цвета» или «белые» фотоны могут разделяться на «цветные»;
- в какой мере фотоны могут взаимодействовать друг с другом;
- могут ли крупные фотоны делиться на маленькие, а маленькие объединяться («сливаться») в крупные.

Эмпирически необоснованное предположение о строго прямолинейном движении фотонов во многом препятствовало развитию квантового подхода. Получилось так, что сначала, без опытных оснований, приписали фотонам «обязательное» прямолинейное движение, а потом на этом основании объявили, что из-за прямолинейности движения нельзя объяснить отдельные оптические феномены типа дифракции и интерференции.

3. Об энергии и размерах фотонов

Эйнштейн предположил: «…В отношении энергии, [световое] излучение должно обладать своего рода молекулярной структурой» [Эйнштейн, 1967: 277]. Кванты света называют также «световыми атомами» или «атомами энергии». Из идеи о «молекулярной структуре» квантов вытекают две гипотезы: 1. кванты различаются размерами, 2. кванты, могут расщепляться на мелкие кванты («атомы») и объединяться, «сливаться» в более крупные кванты («молекулы»). В любом случае фотоны, «элементы энергии», «квантованные пакеты энергии», различаются величиной энергии и, соответственно, размерами. В таком случае энергия единичного фотона пропорциональна его размеру. В первом приближении можно принять, что размер фотона есть его объем (V). В дальнейшем изложении слова «энергия», «размер», «цвет» и «объем» фотона используются как синонимы.

Экспериментально показана способность фотонов нагревать поглощающее тело, потому можно принять, что энергия фотона проявляется (существует) в виде теплоты.

Поскольку волновая природа светового излучения являются гипотезой, основанной на «геометрических проекциях» интерференции, то значения величин частот колебаний света также являются гипотетическими, следовательно, эти величины можно рассматривать как относительные. Как отметил Сергей Вавилов: «Непонятным остается только, почему v [частота светового излучения] имеет данное, а не какое-либо иное значение, – для этого нужны новые гипотезы» [Вавилов, 1924: 41].

В рамках данного рассмотрения можно условно принять, что понятие энергии (размера) фотона в квантовой теории, соотносимо с понятием «частота (длина) светового излучения» в волновой теории. Как указал Эйнштейн: «Однако, если волновая теория отбрасывается, понятие длины волны исчезает. Какое новое понятие занимает его место? Энергия световых квантов!» [Эйнштейн, 1967: 521].

Таким образом, можно термины «частота излучения», заменить термином «объем фотона» (или его размер), при этом часть соответствующих текстов по физике «сохранит смысл». Тогда формула энергии фотона в известной формуле Планка примет вид:

$$W = hV \qquad (1)$$

где W – энергия фотона, V – объем (размер) фотона, h – постоянная Планка. В данном контексте постоянную Планка можно истолковать в том смысле, что различие в величине энергии разных фотонов всегда кратно постоянной Планка.

Как представляется, законы распределения энергии по частотам – закон излучения Вильгельма Вина и закон Макса Планка, могут быть «пересмотрены», исходя из предположения о том, энергия фотонов зависит не от гипотетической частоты излучения, а от размеров фотонов.

Из сказанного следует, что красные фотоны – самые маленькие по размеру и, соответственно, обладают самым маленьким количеством энергии. Фиолетовые фотоны – самые большие и самые энергоемкие. Энергия и размер фиолетового фотона почти в два раза

больше энергии (и размера) красного фотона. И это «собственные» свойства фотонов, не связанные с «частотой излучения».

Экспериментальные данные показывают, что фотоны подвержены влиянию гравитации. Соответственно на фотоны большего размера гравитация действует сильнее. Этим, в частности, вероятно, можно объяснить эффект красного смещения спектра объектов, удаляющихся от наблюдателя. Красные фотоны меньше притягиваются к удаляющейся планете, потому их доля в спектре увеличивается. При приближении же планеты, фиолетовые фотоны сильнее отталкиваются от ее тела, потому их доля в спектре увеличивается. Если исходить из квантового понимания света, то объяснение красного смещения, изменением частоты колебаний волны, эффектом Доплера, см. например [Окунь и др., 1999], неприменимо[3], т.к. у фотона «нет частоты излучения».

Выявленную Дж. Г. Стоксом закономерность, «правило Стокса», см. например: [Физический…, 1995], связанную с фотолюминесценцией, можно истолковать в рамках квантового подхода. Фотолюминесценция, как известно, это люминесценция, возникающая в результате поглощения телом светового излучения. Правило Стокса, в формулировке Э. Ломмеля, можно истолковать таким образом: тело поглощает фотоны большего размера (по критерию максимума поглощения), а излучает фотоны меньшего размера (по критерию максимума излучения), вследствие того, что часть энергии поглощаемых фотонов расходуется на нагрев тела до такой степени, чтобы оно само начало излучать фотоны.

4. Дисперсия - сепарирование фотонов по размеру (энергии)

В случае, если белый свет проходит через трехгранную стеклянную призму, то при выходе из нее он распадается уже на спектр – то есть на потоки фотонов разного цвета (размера). После преодоления границы стекло/воздух, то есть после преодоления выходной поверхности призмы, появляются лучи фотонов разного цвета, отходящих от поверхности призмы под разными углами. Обычно выделяют явственно выделяющиеся цвета – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. При выходе из призмы красные фотоны отклоняются в меньшей степени от начального направления движения потока света, а фиолетовые – максимально.

Причины разложения белого света на потоки цветных фотонов, при прохождении именно треугольной стеклянной призмы, пока не имеет общепризнанного объяснения. В рамках квантового похода можно говорить о разделении фотонов по их размерам (величине энергии) на фракции. Треугольная призма, в силу неких своих специфических свойств, осуществляет фракционирование (рассев, сепарацию) фотонов. Обычно говорят о спектро-

---

[3] Дискуссионность подобных объяснений «покраснения» и «посинения» фотона обусловлена также смешением, использованием как синонимов двух различных пониманий времени: 1) время как эталон длительности наблюдателя; 2) время как скорость протекания процессов в наблюдаемых объектах, называемых «часы».

образующей (дисперсионной, диспергирующей) способности треугольной призмы. В рамках квантового похода, обсуждаемый феномен допустимо определить как фракционирование, сепарацию, а сама призма может быть определена как сепаратор фотонов. Вторая «перевернутая» треугольная призма, объединяющая спектр цветных фотонов обратно в единый поток белого света, может рассматриваться как интегратор фотонов.

Можно предположить, что красные фотоны имеет меньшие размеры (энергию), потому легче преодолевает тело призмы и, соответственно, меньше отклоняется от начальной (прямой) траектории. Фиолетовые фотоны имеют существенно большие размеры (энергию), сложнее преодолевает среду и оттого больше отклоняется под влиянием среды.

Если приставить одну треугольную призму к другой («соединение на оптическом контакте»), получится четырехугольная призма, т.е. пластинка с параллельными гранями. Лучи белого цвета проходят через нее так, как через плоскопараллельную пластинку, т.е. не распадаясь на спектр.

Возможно сепараторная способность треугольной призмы обусловлена каким-то параметром, отличающим ее от пластинки с параллельными гранями. Влиять могут следующие факторы:

- линейно увеличивающаяся толщина треугольной призмы;
- особое соотношение углов преломляющих поверхностей треугольной линзы.

5. Криволинейное движение фотонов, дифракция

Рассеянием или дифракцией называют способность фотонов огибать непрозрачные тела, распространяться в область тени. Различные примеры дифракции широко известны, например:

- Если непрозрачный объект, освещаемый источником света, держать близко к экрану, то тень от него имеет очень четкие границы. Если объект отодвигать от экрана, приближая к источнику света, то даже при небольшом удалении от экрана, границы тени начинают размываться.

- Если наблюдать освещенный солнцем столб, то видно, что мере удаления от основания столба, граница тени все сильнее и сильнее размывается.

- Если расположить провод, освещаемый солнцем, на достаточно большой высоте, то тени от него не будет вовсе.

В эксперименте, описанном Ричардом Фейнманом, показано, что криволинейное движение фотонов начинается в ситуации уменьшения мощности потока фотонов до определенного уровня, путем сближения тел, образующих щель, через которую они проходят [Фейнман: 1988: 50-52]. То есть криволинейное движение фотонов в данном эксперименте детерминируется одним или несколькими факторами: 1. искривляющее влияние тел, формирующих щель, 2. уменьшение мощности потока фотонов, 3. влияние «светового давления» – «избыточных» фотонов, не прошедших через узкую щель.

Не сравнивая, но для отдаленной аналогии, можно рассмотреть примеры из классической физики. В случае, например, если уменьшить щель, через которую вода вытекает под определенным напором, то есть при определенном соотношение величины напора и размера щели, струя воды будет разбрызгиваться во все стороны. Возможно, нечто подобное происходит с потоками фотонов, в частности в описанном эксперименте, т.к. уменьшение щели, вероятно, приводит к увеличению «светового давления» у входа в щель.

В случае с «дифракцией на краю» «световое давление» увеличивается в той части потока фотонов, которая граничит с препятствием, т.е. на той части границы тела, которую фотоны огибают.

Возможно, также, что фотоны обладают способностью рассеиваться, «отталкиваться» друг от друга и уклоняться в область пространства, где фотоны отсутствуют, либо находятся в небольшом количестве. Например, как это делают атомы, молекулы газа, однако эта способность у фотонов выражена слабее.

Говоря об огибании тел фотонами, для отдаленной аналогии, сравним движение фотонов в потоке с движением объектов в классической физике. Если на некоторое препятствие, например столб, направить струю воды или песка, то часть воды, песка, залетит в область, находящуюся позади столба, т.е. в «область тени».

Криволинейное движение свойственно в большей мере потоку фотонов меньшего размера, чем потоку фотонов большего размера. Чем крупнее фотоны, тем слабее проявляется дифракция. Возможно, это вызвано тем обстоятельством, что большие фотоны имеют больший потенциал прямолинейного движения.

6. Разделение единого потока фотонов на отдельные потоки – интерференция

Поток фотонов, при преодолении некоторых тел или после столкновения с телами, может разделяться на два и более потока фотонов, различающихся своими свойствами.

В случаях рефракции (отражения) и преломления, а также поляризации света, исходный поток фотонов делится по два потока.

В случае сепарации фотонов по их размерам (величине энергии) треугольной призмой, исходный поток фотонов делится на большое число потоков фотонов разного размера (цвета).

Если все фракции фотонов (спектр), исходящих из треугольной стеклянной призмы, пропустить через другую такую же призму, но «перевернутую», то из нее будет выходить поток белого света. То есть здесь имеет место феномен объедения нескольких потоков фотонов в один.

Таким образом, экспериментально доказана и не вызывает сомнений способность фотонов как сепарироваться, разделяться на фракции, так и интегрироваться, объединяться в единый поток.

В рамках квантового подхода интерференцию можно определить как способность потока фотонов, при определенных условиях, разделяться на несколько отдельных потоков (иногда различной мощности), между которыми могут возникать «пустые» промежутки («не

освещенные полосы»). При таком понимании, вероятно, простейшим случаем интерференции можно считать интерференцию на щели, когда поток фотонов малой интенсивности проходит через узкую щель, то в середине щели появляется темная полоска. То есть здесь поток фотонов разбивается на два. Иногда подобные феномены называют дисперсией, однако, как представляется, для избегания смешения понятий, можно дисперсией называть только случаи отклонения фотонов в область тени, а интерференцией – случаи разделения потока фотонов на два и более потока.

Интерференция может происходить и вследствие того, что отдельные фотоны имеют собственную, заданную физическими параметрами, траекторию движения, аналогично тому, как это происходит с телами в классической механике.

7. Заключение

Исходным методическим препятствием в разработке квантовой теории света, судя по всему, была эмпирически необоснованная гипотеза об обязательном прямолинейном движении фотонов. Это при том, что рассеяние, дифракция света на границе тени, была практические изначально известна. Несмотря на это, предположения о криволинейном движении фотонов не получали активного развития. Главная причина слабой разработанности квантового похода – недостаток эмпирических данных, обусловленных чрезвычайно малыми размерами фотонов.

В исследовании феномена светового излучения пока, похоже, теория пытается существенным образом опередить эксперимент и измерения. Как представляется, при условии признания, что кванты света обладают определенными физическими свойствами, при появлении радикально более совершенных возможностей для наблюдений и измерений, все феномены светового излучения могут быть описаны, объяснены в рамках квантового подхода.

Ссылки

Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.: Гостехиздат, 1954.

Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 4. М.: Наука, 1967

Фейнман Р. КЭД – странная теория света и вещества! М.: Наука, 1988.

Reddy P. C. Nature and Properties of Light and Radiation: Corpuscular Sphere Theory // IOSR Journal of Applied Physics. 2016. № 8. С. 22-30.

Карпов К. К. О новых представлениях физической сути кванта М. Планка, света, излучений и строения элементарных частиц // Автоматика и программная инженерия. 2016, №1(15). С. 114–130.

Горячев Л. В., Горячев В. Л. Увлечение света веществом // Фундаментальная и прикладная физика. 2012. №1. С. 17-21.

[7] Кочетков А. В., Федотов П. В. Дифракция и интерференция микрочастиц // Науковедение. 2016. №8. С. 1-14.

Верхозин А. Н. Дифракция фотонов при малой интенсивности света // Вестник ПсковГУ. Сер. «Естественные и физико-математические науки». 2015, №7. С. 112-119.

Планк М. Введение в теоретическую физику. Ч. 5. Теория теплоты, М.-Л.: Нучтехиздат, 1935.
Кобзарев И. Ю., Окунь Л. Б. О массе фотона // УФН, 1968, №95. С. 131–137.
Вавилов. С. И. Действия света и теория квантов // УФН. 1924, №4. С. 36–61.
Окунь Л. Б., Селиванов К. Г., Телегди В. Л. Гравитация, фотоны, часы // УФН. 1999. №169. С. 1141–1147.
Физический энциклопедический словарь. Под ред. А. М. Прохорова. М.: БСЭ. 1995.

About energy and curvilinear movement of photons

Farkhad Nazipovich Iliassov
Research Center Orion
E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com
ORCID iD: 0000-0002-0472-110X

Abstract: The possibilities of the development of A. Einstein's hypothesis about photons as " portions of energy " and R. Feynman's hypothesis about the curvilinear motion of photons are considered in the article. The initial methodological obstacle in the development of the quantum theory of light, apparently, was an empirically unfounded hypothesis about the obligatory rectilinear motion of photons. Although the diffraction of light - the flow of bodies, the deviation of light in the shadow, has long been known from simple experiments. The article presents assumptions about the physical properties of photons that can cause diffraction. Einstein points out that the concept of wavelength (frequency of light) can be replaced by the concept of energy of light quanta, from this it follows, a number of essential hypotheses presented in the article. Einstein points out that the concept of wavelength (frequency of light) can be replaced by the concept of energy of light quanta, from this it follows, a number of essential hypotheses presented in the article. Эйнштейн предположил, что световая радиация «должна иметь своего рода молекулярную структуру», то есть отдельные «части энергии», вероятно, различаются по величине, поддерживая предположение Ньютона о разных размерах фотонов разного цвета. Треугольная стеклянная линза, когда белый свет проходит через нее, выполняет функцию своего рода разделителя, деля фотоны на фракции в зависимости от их размера (энергии, цвета). Можно предположить, что красные фотоны имеют меньшие размеры (энергию), потому что легче преодолеть тело призмы и, соответственно, меньше отклоняться от исходной (прямой) траектории. Фиолетовые фотоны имеют значительно большую размерность (энергию) и труднее преодолевают окружающую среду и поэтому все больше отклоняются под влиянием окружающей среды. The curvilinear motion of photons, polarization, reflection, refraction of light and interference can be explained by the specific properties of photons, the

assumptions of which are stated. The article shows that the quantum theory of light has not exhausted its development potential.

Key words: a quantum of light, photon, light dispersion, light polarization, refraction of light, reflection of light, diffraction of light, interference of light, the photon energy

References

Einstein A. Autobiographical Notes. Moscow: Nauka, 1967. (Russ. ed.)

Fizicheskii entsiklopedicheskii slovar' [*Physical encyclopedic dictionary*]. In ed. A. M. Prokhorov. Moscow: Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya. 1995. (in Russ.)

Goryachev L. V., Goryachev V. L. The fascination of light with matter. *Fundamental'naya i prikladnaya fizika [Fundamental and applied physics]*. 2012. No. 1. P. 17-21. (in Russ.)

Karpov K. K. On the new Representations of Physical Essence of the Quantum Planck Constant, Light, Radiation, and the Structure of Elementary Particles. *Avtomatics & Software Engineery*. 2016. № 1 (15). P. 114–130.

Kobzarev I. Yu., Okun L. B. On the photon mass. *Sov. Phys. Usp.* 1968. No. 11. P. 338–341. (in Russ.)

Kochetkov A. V., Fedotov P. V. Diffraction and interference of microparticles. *Naukovedenie*. 2016. No. 8. P. 1-14. (in Russ.)

Newton I. Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures. Moscow: Gostekhizdat. 1954. (Russ. ed.)

Okun L. B., Selivanov K. G., Telegdi V. L. Gravitation, photons, clocks. *Phys. Usp.* 1999. No. 42. P. 1045–1050. (in Russ.)

Planck M. Einfuhrung in die theoretische physik v Einfuhrung in die theorie der warme. Moscow – Leningrad: Nuchtekhizdat. 1935. (Russ. ed.)

Reddy P. C. Nature and Properties of Light and Radiation: Corpuscular Sphere Theory. *IOSR Journal of Applied Physics*. 2016. No. 8. P. 22-30.

Richard P. Feynman. QED – the strange theory of light and matter. Moscow: Nauka, 1988. (Russ. ed.)

Vavilov S. I. Deistviya sveta i teoriya kvantov [The action of light and the theory of quanta]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1924. No. 4. P. 36–61. (in Russ.)

Verkhozin A. N. Diffraction of photons at low light intensity. *Bulletin of Pskov State University. Ser. "Natural and physical and mathematical sciences"*. 2015. No. 7. P. 112-119. (in Russ.)